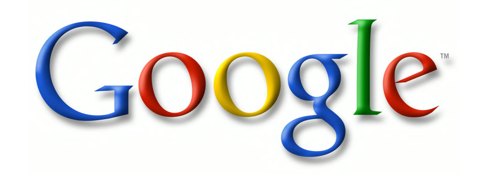
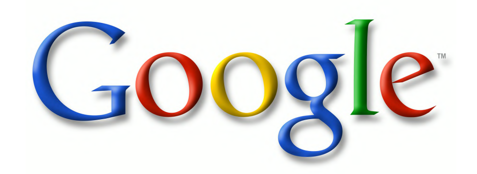
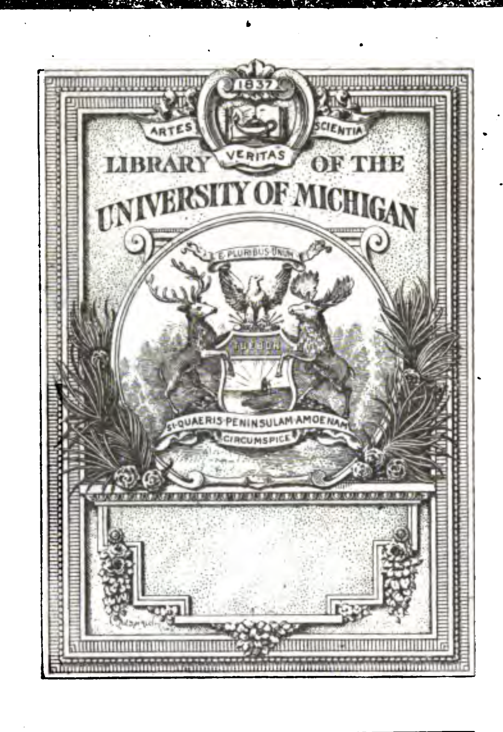





1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Beiträge zur Kenntnis des Geotropismus.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KÖNIGLICHEN

CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT

ZU

KIEL

VORGELEGT VON

WALTER GROTTIAN

AUS

LÜBECK.

DRESDEN

DRUCK VON C. HEINRICH.

Zum Druck genehmigt:

Dr. Sudhaus, z. Z. Dekan.

30. Mai 1908.

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

Beiträge zur Kenntnis des Geotropismus.

Von

Walter Grottian.

I. Über den Einfluss einiger anästhesierender Substanzen auf das Wachstum und den Geotropismus der Wurzeln.

Studien über den Einfluß der Anästhetika auf die verschiedenartigsten Lebensprozesse der Pflanzen sind in großer Zahl ausgeführt worden. Da sich die vorliegende Arbeit mit der Beeinflussung des Wachstums und des Geotropismus durch einige anästhesierende Substanzen beschäftigt, interessieren uns hier vor allen Dingen die Untersuchungen der folgenden Forscher:

Wie Townsends Abhandlungen über „The correlation of growth under the influence of injuries" uns berichtet, beobachtete dieser Autor das Längenwachstum der Wurzeln von Keimpflanzen in einer Luft, welche durch Wasser mit Ätherzusatz feucht und ätherhaltig erhalten wurde. Bei Verwendung von nur 0,1 ccm Äther auf 200 ccm Wasser trat zuerst Wachstumsverzögerung, nach kurzer Zeit jedoch eine Beschleunigung ein. Ein gleiches Resultat erzielte er durch einen anderthalbstündigen Aufenthalt der Keimlinge in einer stark ätherhaltigen Atmosphäre. In diesem Falle setzte die Beschleunigung nach 24 Stunden ein und währte vier Tage lang. Ließ Townsend diese starke Ätheratmosphäre längere Zeit auf die Pflanzen einwirken, so wurde die Wachstumstätigkeit geschwächt oder es trat ein Absterben der Keimlinge ein. Eine Bestätigung fanden diese Ergebnisse durch Versuche Sandstens, der eine gleiche Wirkung auch durch Chloroformdämpfe, aber nicht durch Alkohol erzielen konnte. Eine Untersuchung des Einflusses des Äthers auf die Größe der Zuwachszone hatte sich besonders Popovici zur Aufgabe gemacht und hierbei gefunden, daß je nach der Dauer des Aufenthaltes der Keimpflanzen im Ätherwasser eine mehr oder minder starke Verkürzung der wachstumsfähigen Zone eintrat und selbige schließlich vollständig auf die Zone des Urmeristems beschränkt werden konnte. Wurden die Wurzeln wieder normalen Verhältnissen ausgesetzt, so erlangte die Zuwachszone bereits innerhalb 24 Stunden ihre frühere Größe.

Ein gleiches Resultat, wie die oben erwähnten Versuche Townsends, ergaben die Untersuchungen Burgersteins. Außerdem beobachtete dieser Autor, „daß Hypokotyle in einer Atmosphäre, hergestellt durch Verdunstung von 4—8 ccm flüssigen Äthers in 100 cdm Luftraum, sich bei horizontaler Lage im Dunkeln geotropisch krümmen“. In einer Atmosphäre mit demselben Prozentgehalt an Chloroform trat jedoch „übereinstimmend mit der Sistierung des Wachstums kein Tropismus ein“. Weitere Untersuchungen über die Beeinflussung des Geotropismus durch Chloroform waren bereits längere Zeit vor der soeben erwähnten Arbeit Burgersteins von Correns gelegentlich seiner Arbeiten „über die Abhängigkeit der Reizerscheinungen höherer Pflanzen von der Gegenwart freien Sauerstoffs“ unternommen worden. Diese ergaben, daß nicht nur das Wachstum und der Geotropismus chloroformierbar sind, sondern daß „die Narkose auch, je nach ihrer Stärke, die geotropische Nachwirkung nur unterbrechen oder dauernd aufheben“ kann. Während Correns bei seinen Versuchen erst nach dem Einsetzen der geotropischen Krümmung die Keimlinge dem Einfluß des Chloroformwassers unterwarf und die daraus entstehenden Erscheinungen beobachtete, waren bei den Czapekschen Untersuchungen, welche sich mit der Wirkung des Chloroform auf den Geotropismus beschäftigen, die Keimlinge von Beginn der Versuche an der Chloroformeinwirkung ausgesetzt. Nach Ablauf einer bestimmten, jedoch von Czapek nicht näher angegebenen Zeit kamen die Pflanzen aus dem Chloroformwasser in Kölbchen mit reinem Wasser, welche auf einem Klinostaten angebracht waren, „um den Eintritt einer etwaigen geotropischen Reaktion sicherstellen“ zu können. Die hierbei erzielten Ergebnisse waren folgende: „Chloroformnarkose verlängert die geotropische Präsentationszeit um mehrere Stunden und vergrößert auch die Reaktionszeit, indem die Krümmung erst beträchtlich verzögert einsetzt. Die eben noch für das Weiterleben unschädliche Grenzkonzentration der wässerigen Chloroformlösung hemmt die Reaktionstätigkeit vollkommen, wogegen sie die Perzeptionsfähigkeit nur herabsetzt“.

Ich hatte mir die Aufgabe gestellt, den Einfluß einiger anästhesierender Substanzen auf das Wachstum und den Geotropismus zu untersuchen, insbesondere, ob durch einen gewissen, jedoch von mir nicht näher festgelegten Gehalt der Atmosphäre an dem Narkotikum die geotropische Krümmung verhindert werden kann, ohne daß dabei diejenige Funktion vollständig unterdrückt wird, mittelst welcher die Reizreaktion vollzogen wird.

Bei den Versuchen war die Anordnung für die verschiedenen Anästhetika die gleiche; sie möge deshalb vorangestellt werden. Als Material dienten Keimlinge von *Lupinus albus*. Nach 24 stündiger Quellung in Wasser wurden die möglichst gleichgroßen Samen in mit feuchtem Sägemehl locker angefüllte Kisten gepflanzt. Sobald die Wurzeln eine Länge von 30—40 mm erlangt hatten, waren sie verwendungsfähig. Die Keimlinge wurden durch Abspülen mit Wasser gut von den anhaftenden Sägemehlteilchen befreit, mit Filtrierpapier etwas getrocknet und darauf mit sechs

Tuschmarken versehen, die, je 2 mm voneinander entfernt, die ersten 12 mm des Wurzelendes umfaßten. Bisweilen wurde nur ein 12 mm von der Spitze entfernter Tuschestrich angebracht. In dieser Weise vorbereitet, wurden die Keimlinge nach Anfeuchtung mit Wasser mittelst je zweier durch die Kotyledonen geführter Stecknadeln in wagerechter Lage untereinander an einem Korkzylinder befestigt, welchen ich mir durch Aufziehen von durchbohrten Korken auf eine Glasröhre hergestellt hatte. Ein Umfallen dieser Zylinder bei der durch die Keimlinge hervorgerufenen einseitigen Belastung wurde dadurch vermieden, daß ich auf dem Boden des Glasgefäßes, in welches die Korkzylinder später gestellt wurden, einen durchbohrten Kork befestigte, in dessen Öffnung das untere Ende der mit den übrigen Korken versehenen Glasröhre gesteckt wurde, oder dadurch, daß ich zwischen die beiden untersten Korke ein Bleistück einschob. Um ein Austrocknen der Samen zu verhindern, wurden Wattebäuschchen um dieselben gelegt, welche, wie weiter unten beschrieben wird, befeuchtet wurden. Von diesen so hergerichteten Korkzylindern kam je einer in einen 1100 ccm fassenden, mit Filtrierpapier ausgekleideten Glaszylinder. Natürlich war es nötig, daß die Keimlinge von Beginn des Versuches an sich in einer Atmosphäre befanden, welche inbetreff des Anästhetikumgehaltes möglichst derjenigen entsprach, welche sich später dadurch herausbildete, daß die in den Glaszylinder gegossene Flüssigkeit so lange verdampfte, bis ihre Dampfspannung gleich dem Dampfdruck der entstandenen Atmosphäre war. Zu diesem Zwecke wurde bei den meisten Versuchen bereits vor dem Markieren der Keimlinge der größte Teil der jemalig zur Verwendung kommenden wässerigen Lösung des Anästhetikum — im ganzen wurden 50 ccm Lösung angewendet — in den betreffenden Zylinder gegossen, welcher dann verschlossen wurde; der Rest der Lösung diente später zum Durchtränken der die Samen umgebenden Wattebäuschchen. Waren sodann die Korkzylinder mit den Keimlingen versehen, so wurden sie in die Glasgefäße gestellt, welche sofort wieder mit Glasplatten verschlossen wurden, die auf der Innenseite mit angefeuchtetem Filtrierpapier ausgekleidet waren. Ein luftdichter Verschluß wurde nach Möglichkeit dadurch erzielt, daß sowohl der Rand des Glasdeckels als auch der des Glaszylinders abgeschliffen und mit Fett bestrichen waren; außerdem wurde die Glasplatte mit einem Gewicht beschwert. Die Gefäße kamen dann unter Dunkelstürze. Die Temperatur schwankte zwischen 14° und 18° C. Um den von dem Anästhetikum eingenommenen Raum zu bestimmen, sind von dem Inhalt des Glaszylinders (1100 ccm) das Volumen des Korkzylinders mit Keimlingen sowie die 50 ccm Lösung in Abzug zu bringen. Der Nettoluftraum betrug danach ca. 850 ccm.

Jeder Zylinder wurde mit neun Keimlingen beschickt, von denen je drei nach 24 Stunden zur weiteren Untersuchung herausgenommen wurden. Um die Wirkung eines vorübergehenden Aufenthaltes der Keimpflanzen in anästhesierenden Dämpfen zu erforschen, kamen diese entfernten Lupinen nach Abspülen mit

Wasser und Versehen mit neuen Wattebäuschchen in horizontaler Lage in eine feuchte Kammer, welche unter einen Dunkelsturz gestellt wurde. Infolge der Verflüchtigung der noch in den Keimlingen enthaltenen anästhesierenden Substanzen war hier die Luft zuerst nicht vollständig frei von einer Beimengung dieser Stoffe; deswegen wurde dieselbe anfangs durch mehrmaliges Abheben der Glasglocken durch neue ersetzt. Die zurückbleibenden Keimpflanzen kamen sofort in einen anderen, schon bereitgehaltenen Glaszylinder mit dem betreffenden Anästhetikum. Selbstverständlich wurden auch hier die Wattebäuschchen durch neue ersetzt. Auf diese Weise gelang es, die Keimlinge möglichst schnell wieder denselben Verhältnissen auszusetzen, in denen sie sich vorher befanden.

Um ein relativ sicheres Resultat zu erlangen, wurden die Versuche mehrere Male wiederholt. Natürlich ergaben dieselben nicht in allen Fällen ein vollständig übereinstimmendes Resultat, sondern es wurden gelegentlich kleinere Abweichungen durch die individuelle Verschiedenheit der Samen an Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse hervorgerufen. Gleich vorausschicken will ich, daß gelegentlich bei einzelnen Wurzeln Krümmungen anormaler Art auftraten, wie sie bei Wurzeln häufig in Erscheinung treten. Es wurde nebenher untersucht, ob selbige vielleicht in irgend einer Beziehung zu dem in anatomischer Beziehung bilateral symmetrischen Bau der Lupinenwurzel stehen, jedoch verliefen diese Untersuchungen resultatlos. Von anästhesierenden Substanzen verwendete ich Chloroform, Äther, Äthylalkohol und Amylalkohol (Isobutylkarbinol). Da die erhaltenen Ergebnisse sich am deutlichsten bei den Versuchen mit Amylalkohol zu erkennen gaben, so mögen die diesbezüglichen Untersuchungen vorangestellt werden.

Amylalkohol.

Aus gesättigtem Amylalkoholwasser wurden durch weitere Verdünnung Lösungen von verschiedenem Prozentgehalt hergestellt. Man durfte annehmen, daß der Anästhetikumgehalt der in den Glaszylindern erzeugten Atmosphären annähernd proportional war der in den Lösungen enthaltenen Menge der Anästhetika, besonders da fast alle Narkotika, welche, wie Äther, Amylalkohol und Chloroform, nur in geringer Menge sich in Wasser lösen, in kurzer Zeit beinahe vollständig aus der Lösung in den darüber befindlichen Luftraum entweichen. Dieses wurde durch zwei mißglückte Versuche bestätigt. Die hierbei verwendeten Lösungen von 5 % und 10 % Amylalkoholwasser waren 24 Stunden vor dem Ansetzen der Versuche hergestellt und in Glasflaschen aufbewahrt worden, welche sie nicht ganz erfüllten. Die Lösungen gelangten ohne vorheriges Umschütteln zur Verwendung. Die Resultate der beiden Versuche ergaben, daß vor dem Gebrauch fast aller Amylalkohol aus dem Wasser entwichen sein mußte, denn die Wurzeln zeigten nach 24 stündiger Versuchsdauer eine fast ebenso starke Krümmung, wie die in reinem Wasserdampf befindlichen. Diese Eigenschaft der Anästhetika verlangte ein rasches Einsetzen der Keimlinge in die

Glaszylinder. Trotzdem dieses nach Möglichkeit erstrebt wurde, war ein Entweichen eines Teiles des Dampfes bei der von mir angewendeten Versuchsmethode nicht zu vermeiden. Diese Ungenauigkeit kam für mich jedoch wenig in Betracht, da ich mir nur die Aufgabe gestellt hatte, zu erforschen, ob durch einen gewissen Anästhetikumgehalt die geotropische Krümmung verhindert werden könnte, ohne daß dabei auch das Wachstum vollständig gehemmt würde. Wollte man näher auf die Bestimmung der direkten Menge des in der Atmosphäre enthaltenen Narkotikum eingehen, so müßte hier eine viel kompliziertere und exaktere Versuchsmethode Platz greifen.

Nach einigen orientierenden Versuchen gelangten nur noch 2—20 % Lösungen des gesättigten Amylalkoholwassers zur Verwendung. Das spezifische Gewicht des Amylalkohol betrug 0,814. Da sich bei 16,5 ° C ein Teil Amylalkohol in 39 Teilen Wasser löst, so enthielten die 50 ccm der von mir benutzten Lösungen von 2, 3, 5, 7,5, 10, 15 und 20 % 0,020, 0,031, 0,051, 0,077, 0,102, 0,153 und 0,204 g des Anästhetikum. Im weiteren Verlaufe dieser Arbeit soll der Kürze halber unter a-prozentigem Amylalkoholwasser stets eine Lösung verstanden werden, welche in 100 ccm Lösung a ccm gesättigtes Amylalkoholwasser enthält. Ein Gleiches gilt für die später folgenden Bezeichnungen: Ätherwasser und Chloroformwasser.

Kamen in den Glaszylinder 50 ccm von 20 % Amylalkoholwasser, so starben innerhalb 24 Stunden sämtliche Keimlinge ab. Den gleichen Erfolg rief auch der Aufenthalt in 15 % hervor, wenn sich derselbe über mehr als 24 Stunden erstreckte. Innerhalb des ersten Tages erfolgte noch eine Streckung der wachstumsfähigen Zone um 1—2 mm. Wurden die Pflanzen nach 24 Stunden in horizontaler Lage in die von Alkoholdämpfen freie feuchte Kammer gebracht, so war nach längerer Zeit eine geotropische Krümmung zu beobachten.

Eine Herabsetzung des Gehaltes an dem Anästhetikum um weitere 5 % rief gleichfalls eine Schwächung des Wachstums hervor, welche mit einer vollständigen Verhinderung der Abwärtskrümmung verbunden war. Die Zuwachsgröße schwankte zwischen ein und drei Millimetern. Ein 24stündiger Aufenthalt in dieser Atmosphäre schädigte die Wurzeln keineswegs, denn sie zeigten, sobald sie in den feuchten Raum gebracht waren, nach einigen Stunden eine deutliche geotropische Krümmung. 48stündiges Verweilen in 10 % Amylalkoholwasserdampf hingegen vernichtete das Leben der Wurzelspitzen vollständig. Wurden die Keimlinge darauf in wagerechter Lage normalen Verhältnissen ausgesetzt, so brachen nach ca. sieben Tagen, 10 mm von der Wurzelspitze entfernt, Nebenwurzeln hervor.

In ähnlicher Weise wirkte eine Atmosphäre, die durch Verdunstung von 2—5 % Amylalkoholwasser hergestellt worden war. Eine Abwärtskrümmung der Wurzel trat während der dreitägigen Versuchsdauer nicht ein. Die Zuwachsgröße schwankte zwischen

1,5 und 5,0 mm. Als Beispiel möge ein bei Verwendung von 3 % Amylalkoholwasser gefundenes Resultat angeführt werden.

Versuchsdauer: 2. Mai bis 5. Mai 1907.

Wurzeln	Zuwachs	
	bis zum 3. Mai	bis zum 5. Mai.
1.	— 1,0	abgestorben
2.	+ 3,0	4,0
3.	3,0	4,0
4.	3,0	4,0
5.	3,0	3,0
6.	2,5	3,5
7.	4,0	5,0
8.	1,0	1,5
9.	0,5	1,5

Alle Wurzeln blieben gerade; die erste zeigte am 3. Mai eine Verkürzung um 1,0 mm infolge Turgorsinkens, am 5. Mai war sie abgestorben. Die übrigen acht Wurzeln wurden darauf in wagerechter Lage in die feuchte Kammer gebracht und zeigten bis zum 8. Mai sämtlich geotropische Krümmung.

Je ein Versuch mit 2 und 3 % Amylalkoholwasser blieb über die gewöhnliche Dauer von drei Tagen hinaus stehen. Es zeigte sich hierbei, daß nach 84 bezw. 96 Stunden in jedem der beiden Glaszylinder zwei Wurzeln sich abwärts gekrümmt hatten, während bei vier anderen der Beginn der Krümmung zu beobachten war. Bei dieser Konzentration des Amylalkoholdampfes war durch denselben also nur eine, wenn auch recht starke Verzögerung der geotropischen Krümmung verursacht worden. Jetzt fragte es sich, ob vielleicht auch in allen übrigen Amylalkoholatmosphären, in denen noch Wachstum, aber innerhalb dreier Tage keine tropistische Krümmung zu bemerken war, bei längerer Versuchsdauer die Krümmung nachgeholt werde. Um dieses festzustellen, führte ich eine Reihe von Versuchen aus, bei denen ich mich einer Anzahl von Glaszylindern bediente, welche dem verdunstenden Amylalkoholwasser einen Nettoluftraum von 1600 ccm darboten. Da bei diesen Versuchen der dem Amylalkoholdampf zur Verfügung stehende Raum ungefähr doppelt so groß war, wie bei den früheren, so kamen 100 ccm statt 50 ccm Lösung in die Glaszylinder. In der seitlichen von Filtrierpapier gebildeten Auskleidung der Gefäße befand sich ein 4—5 cm breiter Spalt, so daß die Wurzeln von draußen beobachtet werden konnten. Jeder Zylinder enthielt vier Keimlinge. Im übrigen war die Versuchsanordnung die gleiche, wie sie oben beschrieben wurde. Es ergaben sich folgende Resultate:

10 % Amylalkoholwasser.

Die Keimlinge blieben, abgesehen von wenigen anormalen Krümmungen, während dreier Tage gerade. Da nach dieser Zeit ein Absterben der Wurzelspitze konstatiert wurde, wurden die Versuche abgebrochen und die Wurzellänge gemessen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle niedergelegt. Die Zone zwischen

der Wurzelspitze und der ersten Marke möge mit 1, die nächsten in basipetaler Reihenfolge mit 2, 3 etc. bezeichnet sein.

Versuch vom 17. November bis 19. November.

Zuwachs	in Zone
mm 1,5	2–4
„ 1,0	1—3
„ 1,5	1—4
„ 1,5	1—3

Versuch vom 19. November bis 21. November.

Zuwachs	in Zone
mm 2,0	1—5
„ 1,5	1—5
„ 2,0	1—5
„ 1,5	1—5

Versuch vom 19. November bis 22. November.

Zuwachs	in Zone
mm 2,0	1—4
„ 1,0	1—4
„ 2,0	1—5
„ 2,0	1—4

Der konstatierte Zuwachs schwankte also zwischen 1 und 2 mm. Der größte Teil desselben fiel durchschnittlich auf Zone 3.

7,5 % Amylalkoholwasser.

Versuch vom 16. November bis 20. November.

Zuwachs	in Zone
mm 6,0	1—5
„ 6,0	1—5
„ 5,5	1—5
„ 5,0	1—4

Versuch vom 17. November bis 20. November.

Zuwachs	in Zone
mm 3,0	1—4
„ 4,0	1—4
„ 3,5	1—3
„ 2,0	1—4

Auch bei diesen Versuchen blieben die Wurzeln wagerecht gerichtet. Der größte Zuwachs war auch hier meistens in der dritten Zone, bei dem zweiten der beiden angeführten Versuche jedoch überwiegend in der ersten Zone zu bemerken.

5 % Amylalkoholwasser.

Versuch vom 14. November bis 22. November.

Zuwachs	in Zone
mm 4,5	1—4
„ 6,0	1—5
„ 6,0	1—5
„ 3,5	1—4

Sämtliche Keimwurzeln gerade. Der größte Zuwachs fiel stets auf die erste Zone. In einem Falle nahm diese Zone die Hälfte des Gesamtzuwachses für sich in Anspruch, in einem anderen überstieg sie dieselbe sogar. Es folgt hieraus, daß die Zonen des stärksten Wachstums gegen den Einfluß des Amylalkohols widerstandsfähiger sein müssen als die übrigen. Dies ist ein Resultat, welches mit dem von Popovici durch Äthereinwirkung erzielten übereinstimmt. Bei Verwendung von 5 % bezw. 7,5 % Amylalkoholwasser wurden die Versuche abgebrochen, sobald eine der Wurzelspitzen durch glasiges Aussehen ihr Absterben erkennen ließ.

Wie diese Untersuchungen ergaben, war es also möglich, durch einen bestimmten Gehalt der Luft an Amylalkoholdampf nicht nur die geotropische Reaktion, sondern auch die Perzeption des Reizes zu verhindern, während noch ein beschränktes Wachstum vorhanden war, welches natürlich schließlich auch sistiert wurde.

An zweiter Stelle mögen die Versuche mit

Äthylalkohol.

Erwähnung finden. Die Prozentangaben beziehen sich hier auf den direkten Gehalt an Äthylalkohol. In allen folgenden Versuchen verwendete ich wieder die 1100 ccm fassenden Glaszylinder, welche 50 cm der betreffenden Anästhetikumlösung enthielten.

7,5 % Äthylalkohol wirkte bereits tödlich auf die Lupinen ein; auch die nach 24 Stunden in die feuchte Kammer gebrachten Lupinen konnten sich von der erlittenen Schädigung nicht wieder erholen.

Bei 5 % unterblieb in den Glaszylindern die Abwärtskrümmung. Die markierte Zone zeigte nur eine geringe Verlängerung (0,5—1,0 mm). Waren die Keimlinge 48 oder 72 Stunden der Alkoholwirkung ausgesetzt gewesen, so hatten die Wurzelspitzen ihre Lebensfähigkeit eingebüßt. Wurden sie darauf in normale Verhältnisse versetzt, so bildeten sich jedoch noch Nebenwurzeln aus. Ein kürzeres Verweilen in dem betreffenden Alkoholdampf konnte nur eine vorübergehende Hemmung des Wachstums und der Krümmung bewirken, denn, sobald die Keimlinge in horizontaler Lage in den feuchten Raum gebracht waren, trat innerhalb 2—3 Tagen die Abwärtskrümmung ein.

4 % Äthylalkohol hatte eine ähnliche Wirkung wie 5—10 % Amylalkoholwasser. Der Alkoholdampf hemmte zwar vollständig die geotropische Krümmung, ließ aber einen Zuwachs von 1—2 mm zu.

Eine weitere Herabsetzung des Alkoholgehaltes hatte nur eine Verzögerung der Abwärtskrümmung zur Folge; innerhalb 24 Stunden hatten sich sämtliche Keimlinge gekrümmt. Die Lösungen — 50 ccm — mit einem Gehalt von 7,5, 5, 4 und 3 % enthielten 2,980, 1,987, 1,589 und 1,192 g Äthylalkohol.

Äther.

Da die Verwendung von gesättigtem Ätherwasser den Tod der Lupinenkeimlinge zur Folge hatte, mußten weitere Verdünnungen Platz greifen.

40 % Ätherwasser durften die Pflanzen ohne vollständige Schädigung nur 24 Stunden ausgesetzt werden, denn nach längerer Zeit trat ein von der Spitze ausgehendes Erschlaffen der Wurzel ein. Kamen die Sämlinge nach dem ersten Tage horizontal in die feuchte Kammer, so war zwar bereits das Leben der Wurzelspitze erloschen, aber 10—20 mm oberhalb derselben brachen nach acht Tagen neue Wurzeln hervor.

Ungefähr ein gleiches Resultat ergab 30 % Ätherwasser. Nur zwei Keimlinge zeigten im feuchten Raum eine Abwärtskrümmung. Bei den übrigen starben ca. 3 mm der Spitze der Wurzel ab; innerhalb acht Tagen traten Nebenwurzeln auf. Wachstum konnte nicht konstatiert werden.

Wurde der Prozentgehalt der Lösung an Ätherwasser um weitere 10 % erniedrigt, so übte die Ätheratmosphäre eine Wirkung aus, welche der durch 5—10 % Amylalkoholwasser oder 4 % Äthylalkohol erzielten entsprach. Im äthererfüllten Raume trat keine Krümmung ein; es war jedoch in 24 Stunden ein geringer Zuwachs, in 72 Stunden ein solcher von 2—3,5 mm erzielt worden. Wurden die Pflanzen in die feuchte Kammer gebracht, so zeigte sich bald eine geotropische Krümmung der Wurzeln. Zwei Beispiele mögen hier erwähnt werden.

25 % Ätherwasser.

7 Keimlinge, am 10. Juli angesetzt.

Zuwachs bis zum 13. Juli	16. Juli	22. Juli
mm 2,2	1,5	Turgorsinken.
„ 3,0	2,5	
„ 2,75	2,5	
„ 2,5	3,0	
„ 2,0	2,0	
„ 2,5	3,0	
„ 2,75	2,0	

Keine Krümmung. Wie die zweite Zahlenreihe ergibt, war ein Sinken des Turgors größtenteils bereits am sechsten Tage der Versuchsdauer eingetreten.

20 % Ätherwasser.

4 Keimlinge, am 10. Juli angesetzt.

Zuwachs bis zum 13. Juli	16. Juli	22. Juli.
mm 3,5	3,5	Turgor-sinken.
„ 2,75	2,0	
„ 3,5	3,5	
„ 3,0	3,0	

Auch hier fand nach dem 13. Juli kein weiteres Wachstum statt; desgleichen wurde keine geotropische Krümmung beobachtet.

Bereits 15 % Ätherwasser konnte nur verzögernd auf das Einsetzen der Abwärtskrümmung einwirken. Bei 10 % trat die Krümmung stets innerhalb der ersten 24 Stunden ein.

Konzentriertes Ätherwasser enthält in 100 ccm Lösung 8,4 g Äther. Demnach hatten die 50 ccm der verwendeten Flüssigkeiten von 40, 30, 20, 15 und 10 % einen Gehalt von 1,680, 1,260, 0,840, 0,630 und 0,420 g Äther aufzuweisen.

Chloroform.

Nach einigen orientierenden Versuchen gelangten nur noch 25, 30, 40, 50, 60 und 70 % Chloroformwasser zur Verwendung. Da sich bei 15—20° C in 100 ccm Wasser 0,7 g Chloroform lösen, so enthielten bei Benutzung von je 50 ccm Lösung die einzelnen Glaszylinder 0,088, 0,105, 0,140, 0,175, 0,210 und 0,245 g Chloroform.

Eine Atmosphäre, die durch 75 % Chloroformwasser erzeugt war, wirkte tödlich.

Bei 70 % machte sich die Herabsetzung des Turgor erst innerhalb des zweiten Tages bemerkbar. Jedoch genügte bereits ein 24stündiges Verweilen in diesem Chloroformdampfe, um auch die in normale Lebensbedingungen zurückversetzten drei Keimlinge absterben zu lassen.

Wurde der Gehalt des Anästhetikum um weitere 10 % herabgesetzt, so rief ein 72stündiger Aufenthalt in demselben eine tödliche Wirkung hervor. Die Lebenskraft der Keimlinge wurde jedoch nicht vernichtet, wenn diese in dieser Atmosphäre nur 24 bis 48 Stunden verweilt hatten. 2—3 mm der Wurzelspitze starben zwar ab; dafür brachen aber in der feuchten Kammer nach 5 bis 7 Tagen, 10—20 mm von der Wurzelhaube entfernt, seitlich zahlreiche abwärtswachsende Nebenwurzeln hervor. Ein Zuwachs war an den Wurzeln natürlich nicht zu konstatieren.

50—30 % Chloroformwasser übte insofern eine gleiche Wirkung aus, als eine Abwärtskrümmung der Wurzeln nicht eintrat. Wurden die Keimlinge in normale Verhältnisse gebracht, so war ein Unterschied in den Einwirkungen der verschiedenen Lösungen erkennbar. Während 72stündiger Aufenthalt in 50 % Chloroformwasserdampf bei allen Keimlingen ein Absterben der Wurzelspitze hervorrief, konnten von den Wurzeln, die aus Zylindern mit 40 oder 30 % Chloroformwasser stammten, noch ca. 33 bezw. 66 %

eine Abwärtskrümmung in der feuchten Kammer ausführen. Es hatte also das Chloroform nur auf einen Teil der Pflanzen schädlich einwirken können. Was das Wachstum anbetrifft, so wurde es durch 50 % Chloroformwasser fast vollständig gehemmt. Dagegen wurde bei 40 % ein Zuwachs von 0,5—2,0 mm und bei 30 % ein solcher von 1,0—2,0 mm erzielt, ganz entsprechend den bei 5—10 % Amylalkohol erlangten Ergebnissen.

Der Einfluß von 25 % Chloroformwasser trat nur in einer Verzögerung des Wachstums und der geotropischen Krümmung zu Tage.

Überblicken wir die bisherigen Resultate, so finden wir, daß die verwendeten Konzentrationen der Anästhetika derart stark waren, daß sie stets eine Wachstumsretardation hervorriefen, wenn nicht sogar der Tod der Keimlinge eintrat. Mit 5—10 % Amylalkoholwasser, 4 % Äthylalkohol, 20 % Ätherwasser und 30—40 % Chloroformwasser war ein Zustand erreicht worden, bei dem die geotropische Krümmung vollständig verhindert wurde, weil die Perzeption des Reizes unterdrückt war, während das Wachstum noch nicht erloschen war, beim Amylalkohol sogar eine relativ beträchtliche Größe aufwies.

Gegen dieses Resultat könnten vielleicht folgende Einwände erhoben werden:

Die geringen Zuwachsgrößen bei 30—40 % Chloroformwasser und 4 % Äthylalkohol könnten zu der Entgegnung führen, daß die auf obiger Stufe erzielte Verlängerung der Wurzel nicht durch Wachstum, sondern durch Turgoränderung hervorgerufen wäre. Da die Keimlinge vor dem Markieren mit Tusche durch Filtrierpapier etwas getrocknet und der Luft ausgesetzt waren, so konnten sie sich bereits etwas verkürzt haben, trotzdem ein Austrocknen natürlich nach Möglichkeit verhindert wurde. Kamen sie dann, markiert, in die mit Wasserdampf gesättigte Luft der Glaszylinder, so erreichte der Turgor wieder seine ursprüngliche Größe. Auch konnten vielleicht anfangs geringe Mengen des Anästhetikum den Turgor über die normale Höhe hinaus steigern und auf diese Weise das scheinbare Wachstum hervorrufen. Diesem widersprechen aber die Ergebnisse der Amylalkoholversuche, denn eine derartige Verlängerung, wie sie dort konstatiert wurde, kann keineswegs durch Turgoränderung bewirkt worden sein. Zur weiteren Begegnung dieses Einwandes wurden einige Keimlinge in Zuckerwasser oder 96 % Alkohol gelegt. Es trat dadurch eine Verkürzung der Wurzel um 1,5 mm ein. Um die gleiche Strecke schrumpften auch die Wurzeln zusammen, deren markierte Zone sich in der Anästhetikumatmosphäre um mehrere Millimeter verlängert hatte. Auf Turgoränderung beruhte der „Zuwachs“ also nicht, denn in diesem Falle hätte die Länge der gemessenen Strecke unter die ursprüngliche sinken müssen. Zweitens könnte angenommen werden, daß der Zuwachs zu einer Zeit stattfände, zu welcher der Raum noch nicht mit dem Anästhetikumdampf erfüllt war, trotzdem diesem Zustand, wie oben beschrieben wurde, nach Möglichkeit dadurch vorgebeugt wurde, daß längere Zeit vor dem Einsetzen der Keimlinge die betreffende Flüssigkeit in den Glaszylinder gegossen wurde. Wenn auch dieser Einwand bereits durch den beim Amylalkohol erzielten Zuwachs

von 4—6 mm entkräftet wird, so wurde dennoch als weiterer Beweis gegen denselben folgende Versuchsreihe ausgeführt:

Die Markierung geschah erst nach zweistündigem Aufenthalt der Keimlinge in der mit der anästhesierenden Substanz erfüllten Luft. Der Zuwachs wurde nach 12 und nach 24 Stunden gemessen. Natürlich wurde hierbei für möglichst kurzen Aufenthalt der Keimpflanzen in der reinen Luft Sorge getragen; nach dem Messen kamen die Keimlinge nicht, wie bei früheren Versuchen, in einen neuen Glaszylinder, sondern wieder in den alten zurück, wobei ein Entweichen eines Teiles des Anästhetikumdampfes nach Möglichkeit vermieden wurde. Erwähnen will ich noch, daß die Pflanzen selbstverständlich nach dem Markieren in neue Gefäße gebracht wurden, und in diesem Falle die betreffende Flüssigkeit erst nach dem Einsetzen der Keimlinge in den Glaszylinder gegossen wurde. Im folgenden ist ein Auszug aus dieser Versuchsreihe niedergelegt.

7 % Amylalkoholwasser.

Zuwachs nach:		12 Std.	24 Std.
	mm	2,75	4,00
	„	2,50	3,25
	„	2,75	4,25
	„	2,00	3,75
	„	2,50	3,50
	„	2,75	3,00
Durchschnitt:	„	2,50	3,60

In den zweiten 12 Stunden war also durchschnittlich nur ein Zuwachs von 1,1 mm.

4,5 % Äthylalkohol.

Zuwachs nach:		12 Std.	24 Std.
	mm	1,25	2,25
	„	1,75	3,75
	„	1,50	3,00
	„	1,25	2,75
	„	2,00	3,75
	„	1,75	2,75
	„	1,75	3,00
Durchschnitt:	„	1,60	3,10

Differenz: 1,50 mm.

22 % Ätherwasser.

Zuwachs nach:		12 Std.	24 Std.
	mm	2,25	3,25
	„	2,00	3,00
	„	2,25	2,75
	„	2,75	3,75
	„	2,50	3,25

Zuwachs nach:		12 Std.	24 Std.
	mm	1,25	2,25
	„	2,50	3,25
Durchschnitt:	„	2,20	3,00

Differenz: 0,8 mm.

35 % Chloroformwasser.

Zuwachs nach:		12 Std.	24 Std.
	mm	1,25	2,00
	„	1,75	2,25
	„	1,75	2,25
	„	1,25	1,75
	„	1,25	1,50
	„	1,75	2,25
	„	1,25	1,50
	„	1,00	1,50
Durchschnitt:	„	1,40	1,90

Differenz: 0,5 mm.

Stets hatte also auch noch in den zweiten 12 Stunden Wachstum stattgefunden. Daraufhin wird auch obiger zweiter Einwand hinfällig. Infolgedessen ist wohl als sicher anzunehmen, daß bei einem bestimmten Anästhetikumgehalt noch Wachstum, aber keine Perzeption des geotropischen Reizes stattfinden kann. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch mit Czapeks eingangs erwähnten Untersuchungen, welche ergaben, daß eine Reizperzeption selbst noch bei der eben für das Weiterleben unschädlichen Grenzkonzentration der wässerigen Chloroformlösung stattfindet. Da Czapek keine Angabe über die Dauer der Chloroformwirkung macht, so ist es meines Erachtens überhaupt untunlich, von einer „für das Weiterleben unschädlichen Grenzkonzentration“ zu reden, da es hierbei keineswegs eine absolute Grenzkonzentration gibt. In meinen Versuchen hat, meiner Ansicht nach, sicher keine Perzeption des geotropischen Reizes stattgefunden, denn, wenn dieses der Fall gewesen wäre, hätten die Wurzeln eine Krümmung vollziehen müssen, da das Wachstum, auf dem die Reaktion beruht, nicht erloschen war. Auch wenn sich letzteres fast auf die ersten beiden Zonen beschränkte (siehe die Versuche mit 5 % Amylalkoholwasser), während die Krümmung vorwiegend von der dritten Zone vollzogen wird, so hätte sich wenigstens ein Krümmungsbestreben in einem „Asymmetrischwerden“ der Wurzelspitze zu erkennen geben müssen.

In den angeführten Versuchen zeigte sich bei allen Wurzeln, ganz gleich, ob ihre Spitze später abstarb oder sich krümmte, einige Millimeter oberhalb der Wurzelhaube eine mehr oder minder starke Verdickung. Besonders deutlich war dieselbe bei den Keimlingen in der Chloroformatmosphäre zu erkennen; hier war sie verhältnismäßig kurz und von fast kugelförmiger Gestalt. Vor und hinter derselben war eine geringe Einschnürung zu bemerken. Im Laufe der Zeit verschwand die Anschwellung wieder. Eine derartige Veränderung der Gestalt der Streckungszone der Wurzel

hatte bereits Nemec durch Chloralisierung, sowie durch Äther-, Benzin-, Benzol- und Alkoholdämpfe erhalten.

Es galt nun noch zu untersuchen, ob nicht etwa durch bedeutend geringere Konzentration der verwendeten Anästhetikalösungen eine Beschleunigung des Wachstums und des Geotropismus bewirkt werden könnte. Von einer Förderung des Wachstums durch geringe Äthermengen und schwache Chloroformatmosphären berichteten uns bereits die eingangs erwähnten Arbeiten Townsends, Sandstens und Burgersteins. Auch von mir wurden diesbezügliche Untersuchungen ausgeführt, die ich hier kurz mitteilen möchte. Es wurde hierbei die anfangs erwähnte Versuchsmethode verwendet. Die Glaszylinder enthielten je 50 ccm Lösung von 0, 0,01, 0,02, 0,1, 0,5 bezw. 1,0 % Ätherwasser. Demnach betrug die Äthermenge der Lösung im Mindestfalle 0,0042 g, im Höchstfalle 0,42 g. Die Versuchsdauer — es wurde jeder Versuch zweimal wiederholt — betrug 3½, 4 oder 5½ Stunden. Die Anzahl der für jeden Glaszylinder verwendeten Keimlinge war im ersten Falle vier, in den beiden letzten acht bezw. neun. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle niedergelegt.

Gehalt an Ätherwasser:	Zuwachs in mm:		
	I	II	III
0 %	2,75	1,80	2,90
0,01 %	3,30	2,50	3,00
0,02 %	2,40	2,80	3,50
0,1 %	3,00	2,20	2,90
0,5 %	3,00	1,80	3,40
1,0 %	2,60	2,10	2,80

Bei Betrachtung der Resultate in jeder Versuchsreihe für sich bemerkt man, daß mit der Zunahme der Konzentration der Lösung die Abnahme der Zuwachsgröße nicht Hand in Hand geht, sondern daß bisweilen eine stärkere Lösung auch einen größeren Zuwachs zu verzeichnen hat. Wie ein Vergleich der Versuchsreihen miteinander ergibt, ist diese Ausnahme in allen Versuchsreihen nicht an gleicher Stelle anzutreffen. Trotz dieser Abweichungen, die auf kleine Ungenauigkeiten der Versuchsmethode, zum größten Teil aber wohl auf die verschiedene Widerstandsfähigkeit der einzelnen Keimpflanzen gegenüber Narkose zurückzuführen sind, halte ich mich auf Grund meiner Versuche zu dem Schlusse berechtigt, daß geringe Äthermengen fördernd auf die Wachstumsgeschwindigkeit der Wurzeln einwirken. Denn die obige Tabelle zeigt, daß gegenüber dem Wasserdampf eine 0,01 % Ätherwasseratmosphäre stets eine Wachstumsbeschleunigung zur Folge hatte. Bei 0,02—0,5 % Ätherwasser erreichte das normale Wachstum nur in je einem Falle die Größe des in der Ätheratmosphäre erzielten Zuwachses oder es überholte sie etwas. Eine 1 % Lösung rief jedoch bereits zweimal eine geringe Retardation des Wachstums hervor. Demnach kann man diese Versuche für eine Bestätigung der Ergebnisse der oben erwähnten Forscher ansehen.

Über eine etwaige Beschleunigung des Geotropismus finden wir in der Literatur nur bei Burgerstein die Bemerkung: „Parallel mit dem Grade der Wachstumsfähigkeit in der mit anästhesierenden Gasen gemengten Luft ging die Reaktionsfähigkeit auf heliotropische und geotropische Reize". Da diese der Zusammenfassung seiner Resultate entnommen ist, in seiner Arbeit aber weitere Angaben über Versuche dieser Art fehlen, so bezieht sich obige Mitteilung wohl nur auf die mit der Verzögerung des Wachstums parallel laufende Depression des Geotropismus und nicht etwa auch auf eine Beschleunigung des letzteren.

Aus meinen diesbezüglichen Versuchen konnte ich keinen sicheren Schluß auf ein durch geringe Ätherisierung hervorgerufenes früheres Einsetzen der geotropischen Krümmung, sowie auf ein beschleunigtes Wachsen der gekrümmten Wurzelspitzen ziehen; denn es machte sich hier ganz besonders die individuelle Verschiedenheit der Keimlinge bemerkbar. Zum Beispiel hatten sich von vier Keimlingen, welche sich in dem gleichen Zylinder bei 0,1 % Ätherwasser befanden, nach $3^1/_2$ Stunden beim ersten 0,5, beim zweiten und dritten 1,5 bezw. 1,0 mm, beim letzten aber bereits 5,0 mm der Wurzelspitze abwärts gekrümmt. Der während derselben Zeit erlangte Zuwachs schwankte nur zwischen 2,0 und 3,5 mm. Der Mißerfolg ist zum Teil auch dem Umstande zuzuschreiben, daß die Krümmung häufig nicht scharf markiert war, sondern sich in einem flachen Bogen äußerte, in welchen Fällen natürlich eine genaue Messung der abwärts gekrümmten Strecke nicht stattfinden konnte. Immerhin halte ich eine Beschleunigung der geotropischen Krümmung durch schwache Ätherisierung für sehr wahrscheinlich.

Es mögen nun noch einige Versuche mit Chloralhydratlösungen Erwähnung finden, die teils ein anderes Gebiet betreffen, teils wegen ihrer gänzlich verschiedenen Versuchsanordnungen mit den bisher angeführten Ergebnissen nicht vergleichbar sind.

Der erste Teil erstreckt sich auf die Beeinflussung der Samenkeimung. Zu diesem Zwecke kamen die Samen von *Lupinus albus* für 24 Stunden zwecks Aufquellens in Wasser bezw. 1, 2 oder 5 % Chloralhydratlösung und wurden darauf in feucht gehaltenes Sägemehl gepflanzt. Während die im Wasser gequollenen Keimlinge eine Länge von 2,5—3,0 cm erreichten, hatten in der gleichen Zeit die aus dem 1 % Chloralhydrat nur eine Wurzellänge von 0,5 cm erlangt. 2—5 % Lösung hatte bereits die Keimkraft der Samen vernichtet.

Zweitens wurde der Einfluß des Chloralhydrats auf den Geotropismus untersucht. Die 3—4 cm langen Keimlinge kamen in vertikaler Lage in die betreffende Flüssigkeit, welche bis an die Kotyledonen stand. Nach ein oder zwei Stunden wurden sie dann, horizontal befestigt, in eine feuchte Kammer gebracht. Hatten die Keimlinge eine Stunde in 0,3—0,5 % Chloralhydratlösung verweilt, so trat die geotropische Abwärtskrümmung der Wurzelspitzen innerhalb 24 Stunden ein, bei 0,6 % erst nach 30 Stunden.

Eine weitere Erhöhung des Chloralhydratgehaltes auf 0,75% verursachte eine noch längere Hinausschiebung der geotropischen Krümmung. Nach 40 Stunden hatte sich von sechs Wurzeln erst eine gekrümmt; innerhalb $4^1/_2$ Tagen folgten dann noch drei nach, während die übrigen zwei abstarben.

1% Chloralhydratlösung wirkt bereits tödlich auf Lupinenkeimlinge ein. Derselbe Erfolg wurde mit 0,5% erzielt, wenn sich die Keimlinge hierin zwei Stunden lang befanden.

Bei 0,25 und 0,1%, zwei Stunden lang wirkend, wurde erst nach sieben bezw. sechs Stunden die Krümmung vollzogen. Bei 0,02% Lösung trat selbige jedoch bereits innerhalb fünf Stunden ein.

Durch eine vorübergehende Chloralisierung konnte also die geotropische Reaktion für kürzere oder längere Zeit aufgehoben werden, falls nicht die verwendete Dosis den Tod der Pflanzen herbeiführte.

II. Über die von Czapek gefundenen Stoffwechselvorgänge in geotropisch gereizten und ungereizten Wurzeln.

Überblicken wir die historische Entwicklung der Lehre vom Geotropismus von Dodart, der als erster nach der Ursache der geotropischen Krümmung forschte, bis zur Gegenwart, so finden wir, wenn wir von G. Kraus' Versuchen absehen, welche auf der Unterseite horizontal gelegter Sprosse eine Abnahme des Säuregehaltes und eine Zunahme des Zuckergehaltes ergaben, die später gleichfalls in eine Abnahme umschlug, daß im Gegensatz zu allen früheren Untersuchungen erst ganz neuerdings chemische Vorgänge im Pflanzenkörper zur Lösung dieses Problems herangezogen werden. Dies zeigt ein kurzer Rückblick. Anfänglich hatten Forscher wie Astrue, de la Hire und Du Hamel die innere Beschaffenheit der Pflanzen für die Ursache der geotropischen Krümmungen gehalten, bis es Knight gelang, durch das Experiment den Beweis zu liefern, daß allein die Schwerkraft die Aufwärtskrümmung des Sprosses und die Abwärtskrümmung der Wurzel hervorrufe. Eine weitere Förderung der Anschauungen über den Geotropismus veranlaßten die Kontroverse zwischen Hofmeister und Frank, an welchen sich Müller, Speschneff und Cisielski beteiligten. Auf eine ganz neue Bahn wies Sachs die Forscher dadurch, daß er erkannte, daß der Schwerkraft nur die Wirkung eines Reizes zukäme. Dem äußeren Reiz stellte er die spezifische Empfindlichkeit der Pflanzenteile gegenüber. Jetzt galt es, das Perzeptionsorgan für diesen Reiz ausfindig zu machen. Cisielski und Darwin schrieben auf Grund ihrer Dekapitierungsversuche der Wurzelspitze die Fähigkeit der Reizaufnahme zu. Dieser Hypothese wurde jedoch von Sachs, Detlefsen und Wiesner widersprochen. Auch die von Czapek verwendete neue Methode, welche die Einwände obiger Forscher umging, entschied diese

Frage nicht endgültig, da es bei gleicher Versuchsanordnung weder Wachtel, noch Richter, noch Cholodnyj gelang, gleiche Resultate wie Czapek zu erzielen. Zu erwähnen sind hier noch die von Noll, Nemec und Haberlandt aufgestellten Statolithentheorien, für deren Richtigkeit gleichfalls ein einwandfreier Beweis noch nicht erbracht worden ist. Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Untersuchungen wandte Czapek sich dazu, die chemischen Zersetzungserscheinungen in der gereizten und ungereizten Wurzel zu erforschen. Bei diesen Studien war es ihm vorbehalten, zum ersten Male gewisse s. E. unverkennbare Differenzen zu finden, welche geotropisch gereizte und ungereizte Wurzelspitzen von Keimlingen gegenüber einer Reihe von Reagentien zeigen. Bisher war es nur möglich gewesen, die Aufnahme eines geotropischen Reizes durch die Pflanze daran zu erkennen, daß dieselbe nach einiger Zeit eine deutliche geotropische Krümmung ausführte. Hierbei sehen wir von den bereits erwähnten Untersuchungen G. Kraus', sowie von einer vielleicht an einer Umlagerung der Statolithen erkennbaren Reizaufnahme ab. Die genannten Unterschiede chemischer Natur sollen jedoch nach Czapek bereits lange vor dem Eintreten der Krümmung nachweisbar sein.

Czapeks Beobachtung besteht darin (9. p. 362—363), „daß die Wurzelspitzenlängsschnitte aus gereizten Objekten nach Kochen mit ammoniakalischer Silbernitratlösung und Zerdrücken auf dem Objektträger ihre Zellen dunkler braun gefärbt zeigten, als bei Präparaten aus ungereizten Spitzen; daß ein mit Na OH alkalisch gemachter Zellbrei aus gereizten Spitzen beim Stehen der Probe sich immer stärker rötlich-braun färbt, als ein gleich behandelter Zellbrei aus ungereizten Wurzelspitzen; daß endlich Guajaktinktur oder eine reduzierte Indigkarminlösung oder eine sodaalkalische Mischung von α-Naphthol und Paraphenylendiamin die Längsschnitte unverkennbar schwächer bläuten resp. violett färbten, wenn die Schnitte gereizten Wurzeln entstammten, als wenn sie aus ungereizten Wurzeln angefertigt waren“. Es geht also mit der geotropischen Induktion eine Beeinflussung der chemischen Zersetzungserscheinungen parallel, die sich durch eine Herabsetzung der Oxydationswirkung des Wurzelspitzengewebes auf leicht oxydierbare Reagentien und durch eine Zunahme der Silbernitratreduktion zu erkennen gibt.

Auf Grund späterer Versuche gelangen Czapek und Bertel zu folgender Erklärung dieser chemischen Prozesse: Im normalen Stoffwechsel entstehen aus den Eiweißstoffen unter anderen hydrolytischen Spaltungsprodukten Tyrosin und Phenylalanin. Beide Aminosäuren werden durch NH_3-Abspaltung und Oxydation zersetzt, wobei im weiteren Verlaufe auch Homogentisinsäure gebildet werden soll, die ihrerseits wieder dem Abbau zerfällt. Dieser Säure wird von den Verfassern der größte Anteil an der normalerweise zu beobachtenden $AgNO_3$-Reduktion der Zellen der Wurzelspitzen zugeschrieben. Die Stärke der Reduktion ist abhängig von der gebildeten Menge Homogentisinsäure. Nach geotropischer Induktion ist nun eine größere Menge der Substanzen, die $AgNO_3$ reduzieren,

anzutreffen, wie Czapeks und Bertels Versuche ergaben. Während diese Stoffe bei ungereizten Wurzeln nur ca. 16 % der Trockensubstanz der Wurzel betragen, so nehmen sie bei den geotropisch gereizten etwa 20 % für sich in Anspruch. Die Ursache dieser Vermehrung nach geotropischer Reizung ist nach Czapek nicht in einer Mehrproduktion an Homogentisinsäure, noch in einer Minderproduktion der Enzyme, welche diese Säure abbauen, zu suchen, sondern in der Neubildung eines Enzymes, welches den obigen Enzymen entgegenwirkt, also als Antienzym oder Antiferment zu bezeichnen ist. Ein gleiches Antiferment wurde auch bei phototropischer und hydrotropischer Reizung gefunden; systematisch nicht verwandte Pflanzen sollen verschiedene Antifermente erzeugen.

Fragen wir nun danach, welche Aufnahme diese von Czapek mitgeteilten Stoffwechselvorgänge in geotropisch gereizten und ungereizten Wurzeln in der Literatur gefunden haben, so ergibt sich, daß mancherlei Kritik an denselben geübt worden ist.

Während Czapek annimmt, daß die von ihm konstatierten Unterschiede allein durch tropistische Reizung hervorgerufen werden können, vermutet Noll, daß dieselben mit der geotropischen Krümmung gar nicht in engerem Zusammenhang stehen, sondern durch eine „allgemeinere Störung des Normalbefindens bei eintretenden anormalen Bedingungen“ hervorgerufen werden. Als Beweis für diese Auffassung führt er an, daß von Czapek gleiche Stoffwechselanomalien in einseitig beleuchteten Fabawurzeln gefunden wurden, trotzdem diese nicht auf heliotropische Reize reagieren. Ein anderer Forscher, der sich nicht unbedingt der Meinung Czapeks anschließen kann, ist Nemec. Er macht auf die normalerweise beträchtliche individuelle Variation in der Menge der „Homogentisinsäure“ aufmerksam. 100 Wurzelspitzen enthalten 5,8—6,6 mg im ungereizten und 6,15—7,4 mg im gereizten Zustande, wie Czapek angibt. Danach hält er es für möglich, daß alle diese Unterschiede, welche Czapek zwischen gereizten und ungereizten Wurzeln beobachtet hat, „noch im Bereiche der individuellen Variabilität liegen“. Die „fortgesetzten Versuche von Czapek“ veranlassen ihn jedoch, für sicher anzunehmen, „daß sich gewisse Unterschiede in Stoffwechselprozessen geotropisch gereizter und ungereizter Wurzeln feststellen lassen“. Ob die erwähnten Veränderungen in der Wurzel aber überhaupt in die Reihe von Vorgängen gehören, welche schließlich zur geotropischen Reaktion führen, ist nach Nemec von Czapek nicht erwiesen, sondern „es ist wohl möglich, daß sie (die Reaktion) mit denselben überhaupt nicht zusammenhängt“. Daß auch andere Forscher die von Czapek entdeckten Erscheinungen nicht für eine direkte Folge der geotropischen Reizung halten, ist daraus ersichtlich, daß z. B. Pfeffer annimmt, daß in denselben wahrscheinlich eine Reaktion vorliegt, „die erst durch die ausgelösten primären sensorischen und duktorischen Prozesse veranlaßt wird“. Wie derselbe Autor ausführt, ist die von Czapek konstatierte gleiche Stärke der Antifermentreaktion in der konvex und konkav werdenden

Hälfte der Wurzel „zwar kein Beweis gegen den Zusammenhang mit der tropistischen Reizung, es läßt dieses aber vermuten, daß die inaequale Wachstumsbetätigung der antagonistischen Gewebe zunächst von anderen Vorgängen abhängt“. In gleicher Weise hält auch Jost den Zusammenhang zwischen den Stoffwechselveränderungen und dem Geotropismus für nicht geklärt. Nach ihm können sie vorläufig weder mit der Perzeption, noch mit der Reaktion in Verbindung gebracht werden.

Aber auch die chemische Charakterisierung der Substanzen der Zersetzungserscheinungen, welche sich nach Czapek in der Wurzel abspielen sollen, fiel der Kritik anheim und wurde von E. Schulze und Castoro einer Nachprüfung unterzogen. Bertel hatte behauptet, daß in den Keimlingen von *Lupinus albus* beim Abbau des Tyrosin Homogentisinsäure entstehe. Außerdem hatte Czapek die Homogentisinsäure für den Hauptbestandteil der die Ag NO_3-Reduktion hervorrufenden Substanzen des Wurzelspitzengewebes gehalten. Wie nun neuerdings exakte Untersuchungen von E. Schulze und Castoro ergeben haben, ist diese Säure in den Keimlingen nicht nachweisbar. Nach Ansicht der Verfasser haben Czapek und Bertel einen zu großen Wert auf die durch den Saft der Keimpflanzen bewirkte Reduktion von ammoniakalischer Silbernitratlösung gelegt. Selbige wird nämlich auch durch eine große Anzahl anderer im Organismus enthaltener Substanzen hervorgerufen. Desgleichen weist Raciborski darauf hin, daß die Homogentisinsäure nicht zu den in der Wurzel vorkommenden Stoffen gehören kann, welche die Silbernitratreduktion bewirken. Denn wäre sie vorhanden, dann müßte die Abscheidung des Silbers bereits in der Kälte eintreten; während nach dem Aufkochen noch eine Reihe anderer Substanzen, wie Gerbstoffe, Hexosen und Polysakcharide, ammoniakalische Silbernitratlösung reduzieren. Auch die Annahme Gonnermanns, daß die Dunkelfärbung des Rübensaftes auf der Bildung von Homogentisinsäure beruhe, durch welche sich Bertel veranlaßt sah, auch in den Keimpflanzen nach dem Vorkommen dieser Säure zu forschen, ist nach Raciborski nicht richtig, da Homogentisinsäure nur in alkalischer Lösung eine braune bis braunschwarze Färbung liefert, während der Rübensaft sauer reagiert. Schließlich sei auch noch erwähnt, daß E. Schulze und Castoro das Tyrosin stets nur aus den Kotyledonen, niemals aber aus dem hypokotylen Glied und der Wurzel der Keimpflanzen isolieren konnten, wo Bertel es gefunden hatte.

Auf alle diese Einwände kommt Czapek in seiner neuesten Arbeit (9) zu sprechen. Den von Noll erhobenen, oben erwähnten Einspruch sucht er durch eine Reihe von Versuchen zu widerlegen, auf Grund deren er zu dem Ergebnis geführt wurde, daß weder die Wirkung von Chloroform, Antipyrin, Säuren und Alkalien, noch Sauerstoffbeschränkung, noch mechanische Wachstumshemmung oder traumatische Einflüsse die Antifermentreaktion bewirken, sondern diese allein durch tropistische Reizung hervorgerufen werden könne. Was sodann die Beziehung der Antifermentreaktion zu den einzelnen Teilen der tropistischen Reizvorgänge anbetrifft, vertritt auch er

die Meinung, daß dieselbe noch keineswegs geklärt ist. Schließlich kommt er auch auf die Arbeit von E. Schulze und Castoro zu sprechen, denen der Nachweis der Homogentisinsäure in Keimlingen nicht gelungen war. Hierbei macht er darauf aufmerksam, daß ein genauer analytischer Nachweis der Homogentisinsäure auch von ihm bisher noch nicht geführt worden ist; trotzdem hält er es für wahrscheinlich, daß unter den in der Wurzel entstehenden reduzierenden Stoffen auch Homogentisinsäure vorliege. Wie er ausdrücklich bemerkt, wird die Antifermentreaktion durch diese Kontroverse nicht berührt.

Bevor ich mich nun meinen Versuchen zuwende, möchte ich es nicht unterlassen, etwas näher auf die von Czapek gegebene Erklärung der stärkeren Reduktion der ammoniakalischen Silbernitratlösung durch gereizte Wurzeln einzugehen. Hierbei werden von ihm drei Ursachen erwogen, welche die Wirkung hervorrufen können:

1. eine Mehrproduktion von Homogentisinsäure,
2. eine Minderproduktion der Enzyme, die diese Säure abbauen, und
3. eine Neubildung eines Fermentes, welches obige Enzyme in ihrer Tätigkeit hemmt.

Die ersterwähnte Ursache wird von Czapek auf Grund einiger Versuche verworfen, bei denen in einem Brei aus gereizten Wurzelspitzen der Abbau der Homogentisinsäure sich langsamer vollzieht als bei einem Brei aus ungereizten. Aber auch die Annahme einer Minderproduktion der abbauenden Enzyme in gereizten Wurzeln soll nach Czapek für eine vollständige Erklärung aller seiner Versuche nicht genügen. Als Beweis hierfür führt er folgendes an: Wird in gereizten Wurzeln eine geringere Menge an zersetzenden Enzymen gebildet als sonst, so muß es gelingen, durch Zusatz verschiedener Mengen gereizter Wurzelspitzen zu ungereiztem Wurzelbrei den Rückgang der Homogentisinsäure in verschiedenem Grade zu verzögern. Bei Verwendung von 50 gereizten und 50 ungereizten Wurzeln müßte das Tempo im Rückgange der Ag reduzierenden Substanzen die Mitte einnehmen zwischen dem bei 100 ungereizten und dem bei 100 gereizten Wurzeln erzielten Resultate. Nach Czapeks Versuchen ist dieses aber nicht der Fall; denn 100 gereizte Wurzeln rufen dieselbe Verzögerung hervor wie nur 10 gereizte. Daraufhin entschied sich Czapek zu Gunsten der Annahme einer Neubildung eines Antifermentes. Meines Erachtens kann obiger Beweis mit gleichem Recht gegen das Antiferment angeführt werden. Denn in jeder einzelnen gereizten Wurzel wird sich der Hemmungsstoff bilden; eine größere Anzahl Wurzeln werden also auch eine größere Menge dieses Stoffes ergeben. Selbst wenn man nun mit Czapek bereits geringen Mengen des Antifermentes eine bedeutende Oxydationshemmung zuschreibt, muß sich dennoch ein Unterschied in der Verzögerung des

Homogentisinsäureabbaues bei Verwendung verschiedener Mengen des Hemmungsstoffes beobachten lassen. Hinfällig wird natürlich dieser Einwand, sobald Czapek annimmt, daß der Abbau nur bis zu einem gewissen Grade verzögert werden kann oder die Wirkung des Antifermentes von der gebildeten Menge unabhängig sei. Mit welchem Rechte eine solche Annahme bei dem Antiferment gestattet sein, beim Ferment aber verworfen werden soll, ist mir nicht erklärlich. Als weitere Stützen für das Vorhandensein eines Antifermentes in gereizten Wurzeln führt Czapek folgende Beobachtungen an: Die oxydationshemmende Wirkung des Wurzelbreies kann durch Auswaschen mit Wasser oder durch kurz dauerndes Erhitzen vernichtet werden. Zweitens gelang es ihm, analog dem Verhalten von Toxinen und Antitoxinen, durch einstündiges Erwärmen des Wurzelbreies auf 62° C das Antiferment zu zerstören, während die Wirkung der abbauenden Enzyme hierdurch nicht beeinträchtigt wurde. Endlich konnte von ihm auch noch eine „strenge Spezifität der Antioxydase einer bestimmten Pflanzenart" konstatiert werden. Bei den Versuchen, die den Beweis für die Richtigkeit dieser Angabe liefern sollen, ist mir eine Anzahl von Ergebnissen aufgefallen, welche m. E. den theoretischen Erwägungen nicht entsprechen. Es sei hier nur auf Versuch 7 (9. p. 396) etwas genauer eingegangen. In Probe 5 fanden 50 gereizte Lupinenwurzeln und 50 ungereizte Maiswurzeln Verwendung. Diese ergaben zusammen am ersten Tage einen Titer von 2,1 ccm 0,1 normal $AgNO_3$. Ohne einen Fehler zu begehen, darf man wohl annehmen, daß sich dieser Titer zu gleichen Teilen auf den Brei aus den Lupinenwurzeln und auf den der Maiswurzeln verteilte, also jeder Brei für sich einen Silbertiter von 1,05 ccm aufwies. Da nun nach Czapek das Lupinenantienzym auf den Brei aus Maiswurzeln unwirksam ist, so haben wir in dem Glaskolben zwei sich gegenseitig nicht beeinflussende Lösungen. Nach 20 Tagen müßte danach der Silbertiter des Maisbreies von 1,05 auf 0,25 ccm gefallen sein (wie aus Probe 3 zu entnehmen ist, bei der der Titer von 100 ungereizten Maiswurzeln in 20 Tagen von 2,1 auf 0,5 ccm sank), der Titer des Lupinenbreies jedoch nur auf 0,5 ccm, weil hier das Lupinenantienzym in der Oxydation des Breies aus der gleichen Pflanzenart eine Verzögerung hervorrufen kann. Infolgedessen müßte der Silbertiter in Probe 5 die Höhe von 0,75 ccm (0,25 + 0,50) erreichen und nicht bereits auf 0,6 ccm zurückgegangen sein, wie es Czapeks Versuch ergab. Ein Gleiches gilt für Probe 4. Ähnliche Erwägungen führen dazu, bei Versuch 9 in Probe 3 und 4 nach 20 Tagen statt eines Silbertiters von 0,2 ccm einen solchen von 0,45 ccm (0,1 + 0,35) und bei Versuch 10 (l. c. p. 397) in Probe 1 und 2 statt 0,7 ccm 0,95 ccm (0,65 + 0,3) zu erwarten. Auffällig erscheint mir außerdem, daß trotz der spezifischen Verschiedenheit der Antienzyme von *Zea Mays* und *Lupinus albus* ersteres genau dieselbe Verzögerung des Homogentisinsäureabbaues hervorruft wie das letztere.

Bei dem großen Interesse, welches die von Czapek entdeckten Stoffwechselvorgänge verdienen, ist es auffallend, daß Czapeks

Versuche scheinbar bisher von anderen Forschern zwar einer Kritik, jedoch noch keiner Nachprüfung unterzogen worden sind. Ich hatte es unternommen, dieselben zu wiederholen, um sie später auf andere Objekte auszudehnen und um dabei vielleicht Pflanzenarten zu finden, welche die Reaktionen besonders deutlich erkennen lassen. Die Versuche führte ich genau nach den von Czapek gemachten Angaben aus. Ich kann hier gleich vorausschicken, daß diese Angaben bisweilen ziemlich lückenhaft sind, besonders was die Konzentration der von ihm verwendeten Lösungen anbetrifft, wodurch natürlich eine Wiederholung der Versuche erschwert wurde. Bei sämtlichen Untersuchungen wurden die von mir benutzten Keimlinge bei Zimmertemperatur (ca. 17° C) in mit feuchtem Sägemehl gefüllten Kisten gezogen, bis sie eine Länge von 3—5 cm erreicht hatten. Durch einfaches Umlegen der einen Kiste wurden die hierin enthaltenen Keimpflanzen geotropisch gereizt. Bisweilen erlangte ich, wie auch Czapek, dasselbe dadurch, daß die Keimlinge in horizontaler Lage zwischen zwei Bogen feucht gehaltenen Filtrierpapiers kamen. Als Material verwendete ich hauptsächlich Samen von *Lupinus albus*, daneben aber auch solche von *Phaseolus multiflorus*, *Cucurbita Pepo* und *Zea Mays*. Die Samen waren zum Teil aus Halberstadt, zum Teil von Haage und Schmidt, Erfurt, bezogen. Nach genügend langer Reizung wurden teils durch zwei gleich lange und gleich entwickelte Wurzeln Längsschnitte ausgeführt und die Schnitte sodann in das betreffende Reagenz gebracht, teils wurden die ganzen Wurzeln mit dem Reagenz behandelt.

An erster Stelle mögen die Versuche mit ammoniakalischer $AgNO_3$-Lösung Erwähnung finden. Werden die ganzen Wurzelspitzen oder nur Schnitte in dieser Lösung gekocht, so sollen die geotropisch gereizten stets eine deutlich verstärkte Reduktion gegenüber den ungereizten zeigen. Wie lange das Kochen fortzusetzen ist, wird von Czapek nicht angegeben, trotzdem ein längeres Kochen eine stärkere Reduktion bewirkt, wie meine Versuche ergaben. Infolgedessen wurden von mir die Wurzeln bald nur einmaligem Aufkochen, bald bis zu einer Minute langem Kochen ausgesetzt. An Silbernitrat wurden von mir n, 0,2 n, 0,1 n und 0,01 n Lösungen verwendet. Die beiden Wurzelspitzen (gereizte und ungereizte) möglichst denselben Bedingungen auszusetzen, wurde auf verschiedene Weise erreicht. Bei meinen ersten Versuchen kamen die Spitzen in dasselbe Reagenzröhrchen. Ein Verwechseln derselben wurde dadurch vermieden, daß bald die gereizte, bald die ungereizte eine etwas größere Länge erhielt. Da diese Methode wegen der verschiedenen Wurzellängen vielleicht nicht ganz einwandfrei war, wurde sie bald verworfen. Bei den weiteren Versuchen wurde entweder die eine Wurzelspitze mit einem Platindraht versehen, oder die beiden Spitzen kamen in zwei verschiedene Reagenzgläser mit gleichen Volumina Silbernitratlösung. Beide Gefäße wurden dann gleichzeitig über einer Flamme erwärmt. Diese Versuche wurden gut hundertmal ausgeführt, ergaben aber keine konstant stärkere Dunkelfärbung der gereizten Wurzelspitzen,

Wohl wurden bisweilen Resultate ganz im Sinne Czapeks gefunden; diesen steht aber eine Anzahl von Fällen gegenüber, in welchen die gereizten Wurzelspitzen zweifelsohne eine hellere Färbung zeigten, während durchschnittlich gereizte und ungereizte eine gleiche Farbe ergaben. Der Erfolg blieb auch der gleiche, wenn nach Czapeks Vorschrift die Wurzelspitzen zwischen zwei Objektträgern zerdrückt und dann die Wurzelspitzenmassen, gegen das Licht gehalten, miteinander verglichen wurden. Der Vollständigkeit halber will ich noch erwähnen, daß in einigen wenigen Fällen die gereizten Wurzeln beim Zerquetschen einen wärmeren rötlichen Ton gegenüber den ungereizten Wurzeln zeigten, also nicht ein quantitativer, sondern ein qualitativer Unterschied vorhanden war.

Hierauf wandte ich mich den Versuchen mit Guajaktinktur zu. Dieselbe war 10 % und mit absolutem Alkohol bereitet. Da nach Czapek mehrere Monate altes Reagenz die Reaktion am besten liefert, so wurde neben frisch bereitetem auch 3—4 Monate altes verwendet. Hierbei sollen sich die Längsschnitte ungereizter Wurzeln durch kräftigere Blaufärbung vor den gereizten auszeichnen. Die Schnitte wurden rasch in Uhrschälchen gebracht, welche die Tinktur enthielten, worauf sie eine blaue Farbe annahmen. Läßt man dieselben hierin fünf Minuten liegen, so soll der Unterschied bemerkbar sein. Bei meinen Versuchen hatten nach fünf Minuten, sowie nach längerer Zeit bald die geotropisch gereizten, bald die ungereizten Wurzeln eine stärkere Blaufärbung angenommen, bald war kein Unterschied bemerkbar.

Das dritte von Czapek verwendete Reagenz ist eine Lösung von Indigweiß. Zur Anstellung dieser Versuche wurde eine wässerige Lösung von Indigkarmin durch Zinkstaub und Salzsäure reduziert; anfänglich wurde etwas erwärmt. Das Reagenz soll brauchbar sein, „wenn die farblose Lösung nach ganz kurzem Schütteln an der Luft eine bleibende tiefblaue Farbe erhält und einen Niederschlag von Indigokryställchen absetzt“ (5. p. 209). Da Czapek nicht eine bestimmt prozentige Indigkarminlösung angibt, sondern nur die von derselben verlangte Wirkungsweise, so wurden von mir verschieden starke Lösungen verwendet. Wurde eine tiefdunkelblaue Lösung reduziert, also eine solche, die verhältnismäßig viel Indigkarmin gelöst enthielt, so konnte nur eine schmutzig gelbbraune Farbe erzielt werden. War die Lösung hingegen weniger reich an Indigkarmin, so wurde sie beim Reduzieren klar. Nach kurzem Schütteln nahmen alle eine blaue Farbe an; eine Bildung von Indigokryställchen konnte jedoch nicht beobachtet werden. Zu meinen Versuchen verwendete ich sowohl die farblosen, als auch die nicht ganz entfärbten Lösungen. Das Resultat war aber stets gleich. Auch mit diesem Reagenz konnte eine ständige Dunklerfärbung der ungereizten Schnitte gegenüber den gereizten nicht erzielt werden.

An vierter Stelle wird von Czapek eine Reaktion mit einer alkalischen Lösung von α-Naphthol und Paraphenylendiamin an-

geführt, durch welche die gereizten Wurzelspitzen nicht so intensiv rotviolett als ungereizte gefärbt werden. Die Differenz ist dadurch deutlicher zu machen, daß die Wurzelspitzen (eine oder zwei) in 0,5 ccm physiologischer Kochsalzlösung zerquetscht werden, und dann mit diesem frisch bereiteten Zellbrei die Reaktion durch Zusatz gleicher Volumina des Reagenzes herbeigeführt wird. Den hierbei gebildeten Farbstoff kann man darauf mit Chloroform ausschütteln, wodurch die Probe besonders instruktiv werden soll. Bei der Czapekschen Beschreibung dieses Versuches vermißt man leider eine genaue Angabe, wie starke Lösungen von α-Naphthol und Paraphenylendiamin verwendet wurden. Da α-Naphthol in Wasser sehr schwer löslich ist, so stellte ich mir von dieser Substanz konzentrierte Lösungen her und fügte zu den einzelnen verschiedene Quantitäten Paraphenylendiamin. Von der Sodalösung wurde nur so viel benutzt, wie zum Alkalisieren der etwas sauren Lösung nötig war. Die Mischungen mußten fast vor jedem Versuch frisch bereitet werden, da dieselben bei kurzem Stehen an der Luft eine rötliche Färbung annahmen. Die Schnitte färbten sich rotviolett, ungereizte und gereizte in gleicher Weise. Auch ein mit physiologischer Kochsalzlösung hergestellter und mit dem Reagenz versetzter Wurzelbrei ergab, selbst wenn statt einer oder zwei bis zehn Wurzeln verwendet wurden, kein Resultat im Sinne Czapeks. Durch Ausschütteln mit Chloroform trat die Färbung zwar deutlicher hervor, aber ein durchgreifender Unterschied zwischen gereiztem und ungereiztem Wurzelbrei war auch hierdurch nicht zu erzielen. Um den Zellbrei möglichst konzentriert zu lassen, wurde noch mit geringen Mengen starker Reagentien gearbeitet; das Ergebnis war gleichfalls negativ.

Als letztes Reagenz benutzte Czapek „einige Tropfen Natronlauge“, welche er dem „mittelst physiologischer Kochsalzlösung bereiteten dünnen Zellbrei zerquetschter, gereizter und ungereizter Wurzelspitzen“ zufügte. Läßt man „diese Proben einige Stunden lang stehen, so beobachtet man stets an denjenigen, welche aus gereizten Spitzen entstammen, eine stärkere rötlichbraune Färbung als an den übrigen“. Dieser Versuch, wie die drei vorigen, gegen zwölf- bis fünfzehnmal ausgeführt, ergab selbst dann kein Resultat, wie Czapek es gefunden hatte, wenn zur Vergrößerung des vermeintlichen Unterschiedes dreißig gereizte und dreißig gleichgroße und gleich entwickelte ungereizte Wurzelspitzen verwendet wurden.

Bei allen bisherigen Versuchen kamen größtenteils nur je eine oder wenigstens nur wenige geotropisch gereizte und ungereizte Wurzeln zur Verwendung. Der hierbei erzielte Mißerfolg in der Konstatierung der von Czapek angegebenen Erfolge konnte vielleicht durch Anwendung einer größeren Anzahl von Wurzelspitzen behoben werden. Für die Ausführung dieser Versuche benutzte ich die von Czapek beschriebene Methode zur quantitativen Bestimmung der „Homogentisinsäure“ (9. p. 372—373). Von fünfzig ungereizten Wurzeln von *Lupinus albus* wurden 2 mm der Spitzen abgeschnitten, gewogen (0,03 g), mit Glasstaub und Wasser zu einem Zellbrei zerrieben, filtriert und mit Wasser zu 20 ccm auf-

gefüllt. Sodann wurde eine gleiche Anzahl vierzig Minuten lang geotropisch gereizter Wurzeln genau ebenso behandelt. Ihr Gewicht betrug 0,04 g. Wie hier, so konnte auch bei allen anderen Versuchen dieser Art eine Differenz in dem Gewicht der gereizten und ungereizten Wurzeln nicht vermieden werden, trotzdem die verwendeten Spitzen möglichst gleich entwickelt waren und unter Benutzung eines Maßstabes in gleicher Länge abgeschnitten wurden. Durch diese Gewichtsdifferenz können natürlich im weiteren Verlaufe des Versuches eventuell auftretende Unterschiede bedingt worden sein. An dem soeben angeführten Beispiele betrug die Gewichtsdifferenz 0,01 g. Eine Feststellung des Gewichtes der verwendeten Wurzeln finden wir bei Czapek nicht. Von beiden Flüssigkeiten wurden nun je 10 ccm in ein Kölbchen abpipettiert, 10 ccm NH_3 und 1,0 ccm $\frac{n}{10}$ $AgNO_3$ hinzugefügt, und die Proben dann bis zum Aufkochen erhitzt. Einmaliges Aufkochen soll genügen, um sämtliche oxydable Substanzen zu oxydieren, vorausgesetzt, daß genügend $AgNO_3$ in der Lösung vorhanden ist. Wie meine Untersuchungen ergaben, ist diese Annahme nicht richtig; durch längeres Kochen konnte eine größere Silberabscheidung und dadurch eine stärkere Dunkelfärbung der Lösung erzielt werden. Der soeben beschriebene Versuch wurde mehrere Male wiederholt. Eine stete dunklere Färbung wies die den gereizten Wurzeln entnommene Probe nicht auf. Also war auch hier der Erfolg negativ.

Schließlich unternahm ich es noch, den für die Antifermentreaktion grundlegenden Versuch nachzumachen. Selbige besteht darin, daß sich in einem aus geotropisch gereizten Wurzelspitzen bereiteten Brei der Rückgang der reduzierenden Substanzen langsamer vollzieht, als bei ungereizten Wurzeln. Zur Herstellung des zu diesem Versuche nötigen Alkoholextraktes aus chloroformierten Lupinenwurzeln verfuhr ich nach Czapeks Angaben (9. p. 370) folgendermaßen:

Von 300 Keimlingen wurden die 3—5 cm langen Wurzeln in einem nach Zusatz von Chloroform fest verschlossenen Gefäß für 8 Tage in einen Brutschrank gestellt. Nach Ablauf dieser Zeit wurden die Wurzeln, deren Spitzen eine bräunliche Farbe zeigten, im Mörser zerquetscht und mittelst Glaspulver gut zerrieben. Der Brei wurde mit 80 ccm 96 % Alkohol 15 Minuten lang gekocht, der alkoholische Extrakt eingeengt, und nach Verdünnung mit 50 ccm Wasser der Alkohol verjagt. Sodann wurde die wässerige Lösung filtriert. Das Filtrat soll die Gesamtmenge der $AgNO_3$ reduzierenden Substanzen enthalten. Die Lösung zeigte eine gelblichweiße Farbe und dunkelte beim Stehen an der Luft etwas nach. Die Reaktion war sauer. Hierauf kamen 200 Keimlinge von *Lupinus albus* zur Untersuchung (9. p. 382—383). 100 wurden 35 Minuten lang zwischen zwei Lagen feuchten Filtrierpapiers geotropisch gereizt. Die anderen blieben ungereizt. „2 mm der Spitze wurden rasch abgeschnitten (siehe Anmerkung),

Anm.: Falls die Wurzelspitzen eine möglichst gleiche Länge von 2 mm aufweisen sollten, gebrauchte ich stets 5—6 Minuten dazu, von 100 Wurzeln

darauf im Mörser mit Glasstaub und 10 ccm Wasser fein zerrieben, der entstandene dünnflüssige Brei in ein 200 ccm fassendes Erlenmeyerkölbchen quantitativ hinübergespült.“ Nun wurden 10 ccm des oben erwähnten Alkoholextraktes hinzugefügt, welche 8,4 $\frac{n}{10}$ Ag NO_3 reduzierten. Nach der Reizung wurde mit den 100 gereizten Wurzeln ebenso verfahren. Dann wurden zu beiden Kölbchen 5 ccm Chloroform hinzugesetzt. Hatten sich die anfangs in der Lösung schwebenden Teilchen zu Boden gesetzt, so wurden je 5 ccm abpipettiert und der „Homogentisinsäuregehalt“ bestimmt. War die Titrierung beendet, so kamen die Kölbchen offen in den Brutschrank, wo sie täglich einige Male umgeschüttelt wurden. Die Titrierung wurde nach der von Czapek mit einigen Modifikationen versehenen Methode Baumanns ausgeführt. Zu der zu untersuchenden Lösung wurden 10 ccm NH_3 und aus der Bürette etwas $\frac{n}{10}$ Ag NO_3 zugesetzt, die Probe dann „bis zum Aufkochen erhitzt“, wobei je nach der Menge des abgeschiedenen Ag eine Braun- oder Schwarzfärbung eintrat. Trotzdem, wie bereits erwähnt wurde, die Dauer des Kochens nicht ohne Einfluß auf die Reduktion ist, wurde hier genau nach Czapeks Angabe nur einmaliges Aufkochen angewendet. Nach 5 Minuten langem Stehen und Abkühlen der Lösung wurden fünf Tropfen einer 7,5% Ca Cl-Lösung und zehn Tropfen einer 10% $(NH_4)_2CO_3$-Lösung zugefügt, umgeschüttelt und filtriert. Zum Filtrat, welches nach Czapek klar und farblos sein sollte, bei meinen Versuchen aber stets getrübt erschien, wurde wieder, wie oben, NH_3 und Ag NO_3 hinzugetan. Trat beim Aufkochen noch eine Reduktion ein, so wurde der soeben beschriebene Vorgang wiederholt. Dieses geschah so lange, bis eine Reduktion des Ag NO_3 zu Ag nicht mehr bemerkbar war und durch Hinzufügen von H Cl bis zur sauren Reaktion eine weiße Trübung einen Silberüberschuß anzeigte. Sodann wurden neuerdings 5 ccm der zu titrierenden Lösung abgemessen und wie die erste Titrationsprobe behandelt, nur wurde 0,2 ccm Ag NO_3 weniger hinzugefügt. War jetzt kein Überschuß an Ag nachzuweisen, so mußte der richtige Wert zwischen den beiden Ablesungen liegen. Um mit dem oben angeführten Beispiele fortzufahren, fand ich am 14. Dezember 1906 für die Probe aus ungereizten und gereizten Wurzelspitzen einen Titer von 0,8 ccm

die Spitzen abzuschneiden, selbst wenn mir die Wurzeln, bereits von Sägemehlteilchen befreit, zugereicht wurden. Da die von den ungereizten Wurzeln abgeschnittenen Spitzen nach dem Abschneiden natürlich nicht in genau vertikale Lage gebracht wurden, und da nach Czapek bereits 5 Minuten lange Reizung für *Lupinus albus* genügt, um die Antifermentreaktion deutlich zu zeigen, so konnte bei den zuerst abgeschnittenen Wurzelspitzen vielleicht schon geotropische Induktion eingetreten sein, bevor die letzten abgeschnitten und alle hundert dann zu Brei zerrieben worden waren. Hierdurch kann natürlich der Unterschied zwischen den gereizten und ungereizten Wurzeln verwischt werden, um so mehr, weil bereits 10 gereizte und 90 ungereizte Wurzelspitzen eine gleiche Antifermentreaktion geben sollen wie 100 gereizte. Wie Czapek diese Fehlerquelle vermieden hat, finde ich nicht angegeben.

$AgNO_3$ auf 5 ccm Lösung. Bis zum 21. 12. sank er in beiden Proben auf 0,5 ccm. Eine Nachprüfung am nächsten Tage ergab denselben Gehalt. Dann blieben beide Kölbchen bis zum 9. 1. 07 bei Zimmertemperatur, also im ganzen 26 Tage stehen. Die darauf vorgenommene Titration zeigte noch den Titer vom 21. 12. 06, auch war derselbe bei den gereizten und ungereizten Wurzelspitzen gleich. Dieser Versuch wurde noch einige Male mit ähnlichen Resultaten wiederholt.

Die Ursache zu ergründen, weshalb ich bei meinen Versuchen nicht ein Resultat erzielte, wie es nach den Czapekschen Angaben zu erwarten war, ist mir nicht gelungen. Jedoch will ich es nicht unterlassen, hier auf einige Punkte aufmerksam zu machen, durch welche meines Erachtens das Mißlingen nicht bedingt worden ist. Die verwendeten Reagentien können kaum einen Einfluß auf das Ausfallen der Reaktionen ausgeübt haben, weil die erwartete Blau-, Violett- oder Schwarzfärbung stets eintrat, wenn auch der gewünschte Unterschied zwischen gereizten und ungereizten Wurzelspitzen nicht zu beobachten war. Neuerdings hat Cholodnyj darauf aufmerksam gemacht, daß die Jahreszeit einen großen Einfluß auf die von ihm ausgeführten Versuche über den Chemotropismus der Wurzeln ausgeübt hat. Resultate, die er im Frühjahr gewann, konnte er im Herbst nicht wieder erzielen. Hierin könnte vielleicht die Ursache des Unterschiedes zwischen Czapeks und meinen Versuchsergebnissen liegen, falls nicht Czapek wie ich die Versuche im Sommer und Winter ausgeführt hätten.

Infolgedessen kann meiner Ansicht nach der Widerspruch zwischen Czapeks und meinen Resultaten nur teils auf den bisweilen ungenauen Versuchsangaben, teils auf der Schwierigkeit und Umständlichkeit der Ausführung der von Czapek angewandten Methode beruhen. Hierbei möchte ich nicht verfehlen, darauf hinzuweisen, daß bereits Fitting in seinem Referat über Czapeks letzte Arbeit auf diesem Gebiet auf die Fehlerquellen des Titrierens im allgemeinen, sowie der von Czapek verwendeten Methode im besonderen aufmerksam macht. Auch ich konnte mich bei der Ausführung meiner Versuche davon überzeugen, welch ziemlich großer Menge kleiner Ungenauigkeiten, teils auf dem mehrfachen Zusetzen gleich großer Volumina einiger Reagentien, teils auf dem häufigen Aufkochen, dessen Dauer keineswegs ohne Belang ist, teils auf dem mehrmaligen Filtrieren beruhend, diese Titrierungen ausgesetzt sind. Wie außerdem Fitting mit Recht bemerkt, muß sich der Abbau der Ag reduzierenden Substanzen in dem Extrakt von je 100 gereizten Wurzeln stets annähernd in gleichem Tempo vollziehen. Ein Gleiches gilt auch für die Extrakte aus ungereizten Wurzeln. Bei einer diesbezüglichen genauen Durchsicht der ersten Abteilung der betreffenden Abhandlung Czapeks fand Fitting dann, daß aus je 100 ungereizten Spitzen nach 15 Tagen durchschnittlich die Hälfte, fünf Tage später zwei Drittel der reduzierenden Substanzen abgebaut waren. Bei dem Extrakte aus gereizten Wurzeln erfolgte der Rückgang in 20 Tagen erst bis

auf zwei Drittel. Aber auch einige „recht beachtenswerte Abweichungen“ vom Durchschnitt konnte er bemerken. So ging im Extrakte von ungereizten Wurzelspitzen die Weiterverarbeitung der reduzierenden Substanzen in vier Fällen viel schneller, in vier anderen langsamer vor sich. Nachdem ich mich von der Richtigkeit dieser Angaben überzeugt hatte, unterzog ich meinerseits auch die zweite Abteilung der Czapekschen Arbeit einer genauen Durchsicht, wobei ich folgende Abweichungen bemerkte, bei denen sich die Zersetzung schneller als durchschnittlich vollzog. In 15 Tagen dreimal von 2,1 zu 0,6—0,7 ccm; in 20 Tagen dreimal 2,1 ..... 0,4—0,5 ccm; in 15 und 20 Tagen einmal 2,1 ..... 0,6 ..... 0,2 und einmal 3,0 .... 2,1 .... 1,3 ccm. Besonders auffällig erschien mir die folgende Abweichung (9. p. 447). Bei Beginn des Versuches betrug der Titer 3,0 ccm $AgNO_3$, nach zehn Tagen 2,1, nach 15 Tagen aber bereits nur 1,1 ccm. Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem anderer unter gleichen Bedingungen angestellter Versuche, so sieht man, daß bei letzteren der Titer in 15 Tagen nur auf 1,5—1,7 ccm $AgNO_3$ zurückgegangen ist, also hier zwischen ungereizten Wurzeln ein Unterschied von 0,4—0,6 ccm vorhanden ist, während Czapek zur Unterscheidung von gereizten und ungereizten Wurzelspitzen bereits Differenzen von 0,4 ccm berücksichtigt. Auffallend ist es, daß innerhalb der nächsten Tage der Rückgang der reduzierenden Stoffe in diesem „Ausnahmefall“ derart sich verzögert, daß er nach zehn Tagen bereits fast mit den Vergleichsversuchen übereinstimmt. Es ist jetzt nur noch ein Unterschied von 0,1—0,2 ccm vorhanden. Merkwürdigerweise finden sich derartige Abweichungen nur bei den Versuchen mit ungereizten Wurzeln. Um Irrtümer zu vermeiden, sei noch bemerkt, daß der Rückgang in den gereizten Wurzeln sich aber stets langsamer vollzog als in den ungereizten.

Die von Czapek gefundenen nur geringen Differenzen zwischen gereizten und ungereizten Wurzeln — recht gering dann, wenn man die von ihm verwendete relativ langwierige und an kleinen Ungenauigkeiten reiche Methode zur Bestimmung der Silberwerte in Betracht zieht —, und die Mißerfolge meinerseits bei der Wiederholung der Czapekschen Versuche, würden mich, gleich Nemec, vorläufig zu der Annahme veranlassen, daß die betreffenden Unterschiede auf die individuelle Variabilität der Keimlinge zurückzuführen sind, falls nicht Czapek seine Resultate durch eine beträchtliche Anzahl von ihm angeführter Versuche stützen würde, von denen scheinbar keiner ein unerwartetes negatives Resultat ergeben hatte. Nach alledem bleibt mir die Ursache der Unterschiede in den Ergebnissen Czapeks und meinerseits unerklärlich. Daß hierüber durch Untersuchungen anderer Forscher Klarheit geschaffen wird, kann nur als sehr wünschenswert erachtet werden. Sollte es diesen vielleicht gelingen, die von Czapek entdeckten Unterschiede zu beobachten, so könnte dieses m. E. nur durch eine Änderung oder Verbesserung der Untersuchungsmethoden zu erreichen sein.

Zusammenfassung.

I.

Durch die vorliegende Arbeit sollte die Frage beantwortet werden, ob bei einem bestimmten Gehalt der Luft an Amylalkohol, Äther oder sonstigen Anästhetizis horizontal gelegte Keimlinge noch Wachstum, aber nicht mehr geotropische Krümmung zeigen.

Diese Frage konnte für die Keimwurzeln von *Lupinus albus* in bejahendem Sinne beantwortet werden. Gelangten nämlich 5—10 % Amylalkoholwasser, 4 % Äthylalkohol, 20 % Ätherwasser oder 30—40 % Chloroformwasser zur Verwendung, so trat bei wagerechter Lage der Keimwurzeln keine geotropische Krümmung ein, jedoch war ein schwaches Wachstum zu beobachten, das erst bei 3—6 tägiger Narkose vollständig gehemmt wurde. Am deutlichsten trat dieses Resultat bei den Versuchen mit Amylalkohol (Isobutylkarbinol) hervor. Das Ausbleiben der Krümmung muß durch die Verhinderung der Perzeption des geotropischen Reizes bedingt sein, da die Reaktionsfähigkeit noch nicht erloschen war.

In Verbindung mit diesen Untersuchungen wurden Versuche mit stärkerem und schwächerem Anästhetikumgehalt ausgeführt.

Was die ersteren betrifft, so verursachen 20 % Amylalkoholwasser, 7,5 % Äthylalkohol, 40 % Ätherwasser oder 70 % Chloroformwasser bereits innerhalb 24 Stunden ein Absterben der Keimpflanzen.

Kamen jedoch weniger starke Lösungen als die erstgenannten zur Anwendung, nämlich 3 % Amylalkoholwasser, 3 % Äthylalkohol, 15 % Ätherwasser oder 20 % Chloroformwasser, so wurde entsprechend der Schwächung des Wachstums das Einsetzen der geotropischen Krümmung verzögert, also die Reaktionszeit verlängert.

Hatten noch schwächere Lösungen, nämlich 0,5—0,01 % Ätherwasser Verwendung gefunden, so wurde das Wachstum gegenüber dem in reinem Wasserdampf beschleunigt, wie bereits Townsend, Sandsten und Burgerstein beobachtet hatten. Ob auch das Einsetzen der geotropischen Krümmung durch geringe der Luft zugesetzte Äthermengen beschleunigt wird, konnte nur wahrscheinlich gemacht, jedoch nicht mit wünschenswerter Sicherheit konstatiert werden.

Die Keimkraft der Lupinensamen wurde durch zwei- oder höherprozentige Chloralhydratlösungen vernichtet, während ein geringerer Gehalt nur eine Verzögerung der Keimung gegenüber der in reinem Wasser verursachte.

Vorübergehendes Verweilen von Keimlingen der gleichen Art in Chloralhydratlösungen geringer Konzentration bewirkt eine Verzögerung des Einsetzens der geotropischen Krümmung.

Einstündiger Aufenthalt in 1 % oder zweistündiger in 0,5 % Chloralhydratlösung ließ das Leben der Keimlinge erlöschen.

II.

Czapek hat Angaben gemacht über Unterschiede zwischen den Stoffwechselvorgängen in geotropisch gereizten und ungereizten Wurzeln. Diese sollen bei Einwirkung verschiedener Reagentien auf die ganze Wurzelspitze oder auf Schnitte derselben deutlich zu Tage treten und auf einer Hemmung des Homogentisinsäureabbaues in geotropisch gereizten Wurzeln beruhen. Als Ursache dieser Hemmung wird von Czapek die Bildung eines Antifermentes angenommen, welches den abbauenden Fermenten entgegenwirkt. Ich beabsichtigte diese Untersuchungen auch auf andere, von Czapek nicht verwendete Pflanzen auszudehnen. Bei einer Nachprüfung dieser Versuche mit dem von Czapek verwendeten Material, gelang es mir jedoch nicht, die von Czapek beschriebenen Unterschiede zwischen gereizten und ungereizten Wurzeln zu beobachten. Wohl wurden bisweilen Resultate ganz im Sinne Czapeks gefunden; diesen steht aber eine Anzahl von Fällen gegenüber, in denen ein entgegengesetztes Ergebnis erzielt wurde, während durchschnittlich keine Unterschiede zu bemerken waren. Auch einige von mir ausgeführte quantitative Versuche ließen nicht die nach Czapeks Beschreibung zu erwartenden Unterschiede erkennen. Die Ursache zu ergründen, weshalb meine Versuche ein Resultat ergaben, welches den Czapekschen Untersuchungen widerspricht, muß weiteren Forschungen überlassen bleiben.

Literatur.

I.

1. Burgerstein, A., Über die Wirkung anästhesierender Substanzen auf einige Lebenserscheinungen der Pflanzen. (Verhdl. der k. k. zoolog.-bot. Gesellschaft in Wien. 1906. p. 243 ff.)
2. Correns, C., Über die Abhängigkeit der Reizerscheinungen höherer Pflanzen von der Gegenwart freien Sauerstoffs. (Flora 1892. p. 134 ff.)
3. Czapek, F., Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen. (Jahrb. f. w. Bot. Bd. 32. p. 199.)
4. Nemec, B., Über die Einwirkung des Chloralhydrates auf die Zell- und Kernteilung. (Jahrb. f. w. Bot. Bd. 39. p. 689.)
5. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. I. p. 575. 1897.
6. Popovici, A., Der Einfluß der Vegetationsbedingungen auf die Länge der wachsenden Zone. (Bot. Ctrbl. Bd. 81. p. 33—40. 87—97.)
7. Sandsten, E. P., The influence of gases and vapors upon the growth of plants. (Minnesota Bot. Stud. Second Ser. I. p. 53 ff.)
8. Townsend, C. O., The correlation of growth under the influence of injuries. (Ann. of Bot. Vol. 11. p. 509 ff.)

II.

1. Bertel, R., Über Tyrosinabbau in Keimpflanzen. (B. D. B. G. Bd. 20. p. 454 ff.)

2. Cholodnyj, N., Zur Frage über die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzel. (Schriften des Naturf.-Vereins in Kiew. Bd. 20. cit. n. d. Referat v. Rothert. Bot. Ztg. 1907. p. 189 ff.)
3. Czapek, F., Untersuchungen über den Geotropismus. (Jahrb. f. w. Bot. Bd. 29.)
4. — Über einen Befund an geotropisch gereizten Wurzeln. (B. D. B. G. Bd. 15. p. 516 ff.)
5. — Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizerscheinungen. (Jahrbuch f. w. Bot. Bd. 32. p. 208 ff.)
6. — Stoffwechselprozesse in der geotropisch gereizten Wurzelspitze und in phototropisch sensiblen Organen. (B. D. B. G. Bd. 20. p. 464 ff.)
7. — Stoffwechselprozesse bei hydrotrop. u. bei phototrop. Reizung. (B. D. B. G. Bd. 21. p. 243 ff.)
8. — The antiferment reaction in trop. movements of plants. (Ann. of Bot. Vol. 19. p. 75 ff.)
9. Czapek u. Bertel, Oxydative Stoffwechselvorgänge bei pflanzl. Reizreaktionen. (Jahrb. f. w. Bot. Bd. 43. p. 361 ff. u. 419 ff.)
10. Czapek, Biochemie der Pflanzen.
11. Fitting, Referat in der Bot. Ztg. Bd. 65, II. p. 185 ff.
12. Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie p. 548. 1904 u. 2. Aufl. 1908.
13. Kraus, G., cit. n. Jost, Vorles. über Pflanzenphys. 2. Aufl. 1908. p. 530.
14. Nemec, B., Einiges über den Geotropismus der Wurzeln. (Beiheft z. Bot. Ctrbl. Bd. 17. p. 45.)
15. Noll, F., Referat in der Bot. Ztg. 1903. II. p. 356.
16. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. p. 609 u. 646. 1904.
17. Raciborski, M., Über die Assimilation der Stickstoffverb. durch Pilze. (Extrait du Bull. de l'Acad. des Sciences de Cracovie. p. 759/60. 1906.)
18. Richter, E., Zur Frage nach der Funktion der Wurzelspitze. (Inaug.-Dissert. Freiburg 1902.)
19. E. Schulze u. Castoro, Über den Tyrosingehalt der Keimpflanzen von *Lupinus alpus*. (Zeitschrift f. physiol. Chemie. Bd. 48. p. 387 ff.)
20. — Bildet sich Homogentisinsäure beim Abbau des Tyrosin in den Keimpflanzen? (Zeitschr. f. physiol. Chemie. Bd. 48. p. 396 ff.)
21. Wachtel M., Zur Frage des Geotropismus der Wurzeln. (Cit. n. d. Referat von Rothert in der Bot. Ztg. 1899. II. p. 227 ff.)

Vorliegende Arbeit wurde im Botanischen Institut der Universität Kiel im Wintersemester 1906/07 begonnen und im Wintersemester 1907/08 beendet.

Herrn Geheimrat Professor Dr. Reinke sowie Herrn Professor Dr. Benecke erlaube ich mir auch an dieser Stelle für die Anregungen und Unterstützungen bei der Ausführung der Arbeit meinen ergebensten Dank auszusprechen.
